

熊本学園大学 機関リポジトリ

老化と筋の細胞生物学的研究：長寿と遺伝子

| | |
|-----|---|
| 著者 | 豊田 直二 |
| 雑誌名 | 社会福祉研究所報 |
| 号 | 44 |
| ページ | 115-136 |
| 発行年 | 2016-03-31 |
| URL | http://id.nii.ac.jp/1113/00000753/ |

〈研究ノート〉

老化と筋の細胞生物学的研究

— 長寿と遺伝子 —

豊 田 直 二

要 約

老化と筋運動は関係が深い。筋の鍛錬は認知症の進行に抑制効果がある。また一方で長寿遺伝子、長寿物質が発見されている。さらにクローン技術、ES細胞、iPS細胞も医療への実用化が進んでいる。歩行補助ロボット、排泄補助ロボット等も高齢者の生活、健康と寿命の向上に貢献し、将来のウェルネス、福祉と介護に大きな変化をもたらすと考えられる。これらの時代背景から、これからの高齢者の健康と幸福について考察する。

1. 目的

いつまでも若さを保ちたいという気持ちは誰にでもある。若いときは疲れていても一晩眠れば元気が回復し、また前日同様に働く事ができる。しかし年を重ねるにつれそうはいかなくなる。むしろ歳をとってから以前の若さを意識しはじめる。「若くありたい」という気持ちは老化してからのほうが強いようだ。

老化は物忘れ、白髪、頭髪が薄くなる、体力が続かなくなる。老眼、記憶力の低下、筋力の低下、関節の痛み等は典型的な現象だ。自覚はなくても骨密度の低下、脳の萎縮、認知症など、骨、脳、心臓、肝臓、腎臓、脾臓などの各臓器の機能が低下してくる^{1, 2)}。やがて臓器機能、生理機能、精神活動が衰退し、環境に適応できなくなる。これらは時間経過に伴う細胞数の減少と細胞能の低下と考えることもでき、人により程度は異なるが老化の一般的症状と言われている³⁾。

日本では4人に1人が満65歳以上となり、すでに超高齢社会に突入している（世界保健機構 WHO、国連の定義による）。超高齢社会になったとはいえ、誰もが願うことは健康で充実した老後の生活であると思われる。

1) 今堀和友 (1993) 老化とは何か、岩波新書 pp37-39.

2) 杉本正信 (2000) 人は何歳まで生きられるか、新書館 pp144-150.

3) 東京都老人総合研究所編 (1998) サクセスフル・エイジング — 老化を理解するために —, pp179.

老化は一般に不可逆的であるが、現在、医学生物学分野の進歩はめざましいものがあり、老化を遅らせ、長生きできる遺伝子⁴⁾、長寿物質が発見されている⁵⁾。さらにクローン技術、ES細胞、iPS細胞もこれからの医療に生かされ、健康で長寿な人生をおくることができるかもしれない^{6, 7, 8)}。これらはまだ研究段階とはいえ、網膜などに実用化されつつあり、将来福祉の世界へも影響が有ると思われる。このような研究は老化というよりむしろ若返りの方向で追求されている⁹⁾。

またここ数年の新しい動向として介護ロボットの開発が著しい。歩行補助ロボット、排泄補助ロボットなど多くの種類がある。介護する側には労力の軽減、介護される側にも気兼ねの軽減など、将来の福祉と介護に大きな変化をもたらすと考えられる。ロボット工学も高齢者の生活、健康と寿命の向上に貢献し、将来のウェルネス、福祉と介護に大きな変化をもたらすと考えられる。長寿でありながら健康で若々しい人生を送ることができれば素晴らしい。長寿物質また人体の機械的補助などの時代を背景としたうえで、これからの高齢者の健康と幸福について考察することを目的とする。

2. 寿命と老化

I) 老化の個人差

20代の若いときは健康そのもので、体も円滑に動き、疲れを知らない。個人差や性別により異なるものの25-30歳までこの状態が続き、この期間に結婚する人もいる。30-35歳から記憶力の低下などがおこり、筋力も低下する。やがて数十年で老化し寿命となる⁴⁾。

II) ヒトとヒト以外の動物の寿命

ヒトと他の動物種と比較する場合、何歳という比較は成り立たず、成長期、生殖期、生殖後期と区別して比べるのが都合が良いので図1に示す。

ヒトも他の生物と同様、老化し、やがて寿命になる。生物学的に寿命は3つの期間に分けることができる。

成長期：生まれてから性成熟期にいたるまでの期間

生殖期：子孫をつくり、育てあげるまでの期間

生殖後期：生殖期を終わった後の期間

4) 田沼靖一 (2002) ヒトはどうして老いるのか — 老化・寿命の科学、ちくま新書。

5) Imai S, Armstrong CM, Kaeblerlein M, Guarente L. (2000) Transcriptional silencing and longevity protein Sir2 is an NAD-dependent histone deacetylase. *Nature*. 403: 795-800.

6) 八代嘉美 (2008) PS細胞、平凡社新書。

7) 中西貴之 (2008) 万能細胞 なにがスゴイか？ 技術評論社。

8) Yamanaka S. (2012) Induced pluripotent stem cells: past, present, and future. *Cell Stem Cell*. 14; 10(6): 678-84.

9) 中畑龍俊 (2012) 再生医療の進歩 (特集 最先端医療の進歩: 臓器移植・再生医療・遺伝子治療 — 再生医療の進歩、小児科診療 75(1)、診断と治療社 pp57-63.

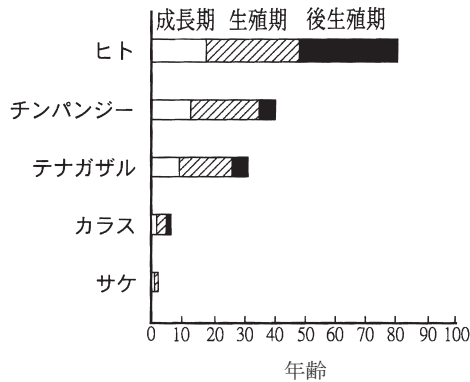


図1 動物種の寿命の長さ（田沼靖一、2002）

サケのように生殖したら寿命になるものもある。霊長類は成長期、生殖期、後生殖期があり、鳥類、魚類に比べて長い。特にヒトは後生殖期が長い。子をつくり育てた後の後生殖期は老後の期間と考えられる。

サケなど生殖期になると生まれた川に帰ってくる。そこで受精して子孫を残してすぐ寿命をとる。成長期と生殖期しかない。カラス、テナガザル、チンパンジー、ヒトの順に成長期、生殖期、後生殖期が長くなる。子を作り、育て上げ、その後も人生が残っている。この後生殖期が老後となる。ヒトは最も老後が長い。この期間にまだ働いているヒトも多く、趣味に費やす時間も長い。

図2はもっと多くの種での最大寿命と性成熟年齢の比を示している。最大寿命が長い動物ほど性成熟年齢（子が産めるようになる年齢）に達するまでに時間がかかることをしめしている。人をはじめとする動物の最大寿命は、子が産めるようになる年齢（性成熟年齢）と比例関係にあることがわかっている^{1, 4)}。

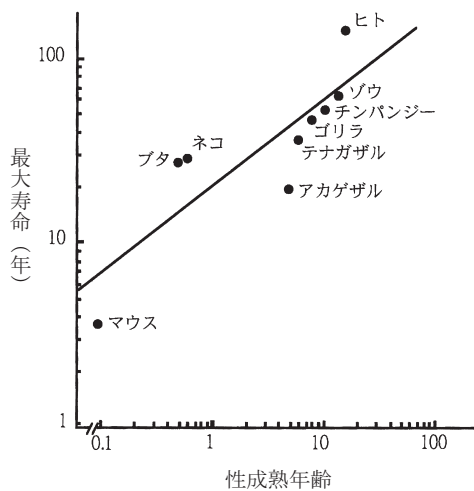


図2 最大寿命と性成熟年齢との関係（田沼靖一、2002）

ヒトとゾウは性成熟年齢も長く、最大寿命も長い。一方マウスは性成熟年齢も短く、最大寿命も短い。

Ⅲ) 成熟年齢の比較

次にこれらの動物の性成熟年齢、最大寿命と産子数の関係を調べると、各動物がどのように子孫を残してきたかを調べる事が出来る(図3)。

ゾウなど体の大きい動物ほど長寿で、産む子の数が少なく、マウスやネコなど体の小さい動物は寿命も短く、多くの子を産む傾向にある(図3)。寿命が長い動物は子育てにも長い時間を要する。しかしヒトは例外的で、ゾウほど体は大きくないが長寿で性成熟期にいたるまでの期間が長い。マウスは生後、約4週間で生殖可能になり、妊娠期間は19日と比較的短い。しかも年間40~50匹の子を産む。最大寿命は3年余りと短い。マウスは効率よく子を産めるように進化することによって、種の保存を図った生物と言える。また、魚や亀はマウス以上にたくさんの卵を産む。このような動物は、生命進化のなかでまったく子の面倒を見ない多産多死の方法によって子孫を残す道を選択した生物と思われる^{4, 10)}。

魚類やマウスは種の保存に多産多死という方法をとっているが、ヒトはまた別である。ヒトは妊娠期間が約10か月で、生殖年齢に達するまでに平均13.5年かかる。そして一度に産む子は普通一人である。この数は少なくとも寿命を長くして、子を確実に育てるように進化してきたと思われる。ゾウ、チンパンジーも同様な方法をとっている。寿命が違うのは長い生命進化の過程で寿命が遺伝的に決められたことを意味しているのかもしれない。そしてその寿命は生殖と密接に関係していて、寿命の長さは後生殖期にあることを示唆している。すなわち老化は後生殖期の長期化であり、遺伝子に組み込まれた進化的な現象であると考えられる¹⁰⁾。

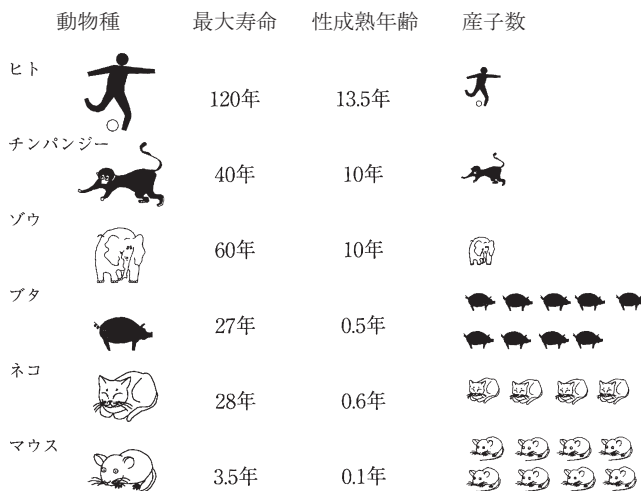


図3 動物の寿命と産子の関係

動物の最長寿命と産子数の関係ヒトからマウスまでの最長寿命と1個体から産まれる子孫の数には相互関係がある。(杉本正信 2000)。

10) 杉本正信(2000) 人は何歳まで生きられるか、新書館。

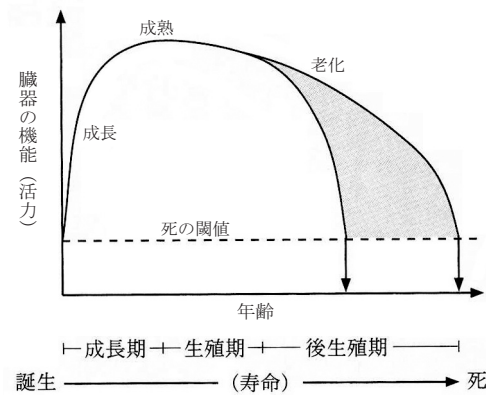


図4 個体の老化過程

横軸は生まれてから死ぬまでの期間（年齢）、縦軸はいろいろな臓器や器官の機能・活力を示している。2つのカーブ：成長はみな同じ速度で進むが老化速度は人により異なることを示している。死の閾値：置き換えのきかない細胞分裂の回数（田沼靖一、2002）

Ⅳ）成熟年齢と臓器機能

田沼は人の一生を臓器の機能と結びつけて次の様な図に表している（図4）。臓器の活力は生まれてから徐々に上昇して成長期を過ぎてほぼ横ばいになる。そして臓器によってスピードは違うが、やがて機能の衰退が起こってくる。免疫機能に重要な役割を果たす胸腺の退縮は早い時期から起こることが知られている。10歳頃から顕著な重量の減少がある。胸腺のように老化は必ずしも後生殖期に起こるというわけではない。重要なことは、成長期から生殖期までは、大体みな同じスピードで成長が進行するが、後生殖期での老化速度は個人個人で異なる。40歳を過ぎると早い人では白髪が目立ったり、髪が薄くなったりしてくる。老化が速く進む人と非常に遅い人があり、個人差が出てくる⁴⁾。「老化は後生殖期におけるいろいろな臓器の機能の衰退現象をさす。しかし、臓器の衰退は人により個人差があるので、老化の原因を、ある決まった臓器や器官に求めることはできない」と言うこともできる¹⁰⁾。

老化のスピードは、多くの遺伝子の複雑な働きによって影響を受ける。加齢に伴って、さまざまな生理機能が衰退するのは、結局はそれらの機能に関わる遺伝子の活力が低下するからだ。そのため様々な生活習慣病や感染症等にかかりやすくなる。そのなかでどの病気になるかというのは、生活の質によって決まり、最終的には寿命にも深く関係がある⁴⁾。

人は時間の経過に伴い、新生児、幼児、学童、青年、壮年、中年、老年へと外見的な違いを示しながら変化する。そして老化に伴う変化は生体の機能低下をもたらしている。

老化には生理的老化と病的老化がある。生理的な老化現象として、運動機能や内臓機能の低下、免疫機能の低下、生殖機能低下、記憶力の低下、皮膚のシミ、シワ、老眼、難聴、歯が抜けやすい、毛が薄くなるなどがある。これらは、程度の差であれ、誰でもある老化だ。病的老化としては、動脈硬化、白内障、骨粗鬆症、癌、老年期認知症などがある。生理的老化に、環境要因やライフスタイル、

遺伝子要因などが関与し病的な老化へと進んでいくものと考えられる。老化は、性成熟で始まり、それ以後に起る症状は人様々といえる。

3. 細胞レベルでは

I) 細胞の分裂回数

以上のことから寿命が種によってある程度決まっており、子孫を残したあとの後生殖期に老化がおこることになる。ではどの生物も細胞からできているので細胞はどれくらい長く生きられるのだろうか？その前に細胞はどれくらいの回数分裂できるのだろうか？科学史の順に見て行くことにする。

II) アレクシス・カレルの実験

細胞分裂の回数に関しては、学術的論争があった。それには天才的外科医アレクシス・カレル(1873-1944)をあげなくてはならない。カレルはリヨン大学、シカゴ大学、ロックフェラー大学で教鞭をとっている。その間、難しいといわれた血管縫合という技法を開発し、次の様な有名な医療処置を残している。生まれて間もない女児が鼻から出血し、止まらない。このままではこの新生児の命が危ない。カレルは新生児の大腿部の静脈と父親の前腕の動脈を吻合し、父親の血液を幼児に輸血した。この女児の命は救われた。まだ血液形が発見される以前と言うから偶然成功した処置であった。しかし多くの医師が集まり、この子の命は助からないと思われるところに現れ、みごとに命を救ってしまうところと以下に述べる黒い衣装など医学コミックのブラックジャックを連想する。

そのほかカレルは子犬の心臓の血管を成犬の頸部の血管に吻合し、心臓移植の実験も行っている。同様に腎臓も成犬の頸部血管に縫合している。心臓移植、臓器移植の始まりである。血管吻合と臓器移植の功績により 1912 年ノーベル医学生理学賞を授賞している。

当時、黒い色は殺菌に効果があると信じられており、カレルのグループは全身黒ずくめの手術衣で行っており、手術室の天井、壁、床まですべて黒く塗っていたという。

1912 年、カレルはニワトリ胚の心臓をスライドガラスの上に置き栄養を与え、培養している。この心臓はやがて細胞のかたまりになり、2 ヶ月間拍動し、さらに 30 年間生き続けた。このことからカレルは「死は必然ではない。」「普通の細胞は不死である。」と言っている。この細胞はカレルの死んだあとも 15 年間生き続けたという。ニワトリの心臓は合計 45 年間も生きていたことになる。ニワトリの平均寿命は約 10 年、最も長く生きて 30 年と言われているからカレルの培養心臓はニワトリの寿命以上生きたことになる^{11, 12)}。

11) 不死の細胞、狂想曲 (2015) フランケンシュタインの誘惑、科学史、闇の事件簿、NHKBS プレミアム、3 月 5 日放送。

12) Park HW. (2011) Senility and death of tissues are not a necessary phenomenon: Alexis Carrel and the origins of gerontology. Uisahak. 30; 20(1): 181-208.

私自身ニワトリの心臓を培養しているが、プラスチック皿の上でもせいぜい10日ではがれてしまい、それ以上は培養とはいえない状態になる。心筋独特の拍動も7日ぐらい維持出来れば良い方だ。また普通は別の菌が混入しないようにペニシリンとストレプトマイシンを加えるが、カレルの時代はまだペニシリンも発見されていない時代である。現在の様な培養系、培養装置もまだ確立する前の時代のことだ。

抗生物質も無しに45年も培養を維持したと言うのはまことに信じ難い。この培養細胞をテレビ番組で見る機会があった。心筋細胞の拍動はないが、確かに生きてうごめいている。大きな疑問点は心筋細胞への栄養をどのように与えたかについて詳細な記録が無い。栄養の中に他の細胞が混入しており、それが次々と45年間添加され、継続された可能性が高い。しかし不死の細胞はあるのだろうか。人の命は永遠に続くことが出来るのだろうか¹³⁾。

Ⅲ) ヘイフリック限界

北米カリフォルニア、スタンフォード大学のヘイフリックは「哺乳動物の体細胞は何回かの分裂を繰り返すと増殖を停止し、死滅する」ということを見出した。これは「ヘイフリックの限界」と呼ばれる。哺乳動物から体細胞を分離し、試験管内で培養する。細胞は初めのうちは順調に分裂しどんどん数が増えていく。ところが、ある回数分裂すると、もうそれ以上は分裂できなくなり、死滅してゆく。この回数が「ヘイフリックの限界」という。そして、ある動物種におけるヘイフリックの限界とその動物の寿命は相関している(図5)。さらに、細胞を取ってきた個体の年齢が高いほど、分裂能力は低い、ということも分かってきた。この発見は1961年のことであり以前カレルが提唱していた「普通の細胞は不死である。」という説をひるがえすことになった^{10、14)}。

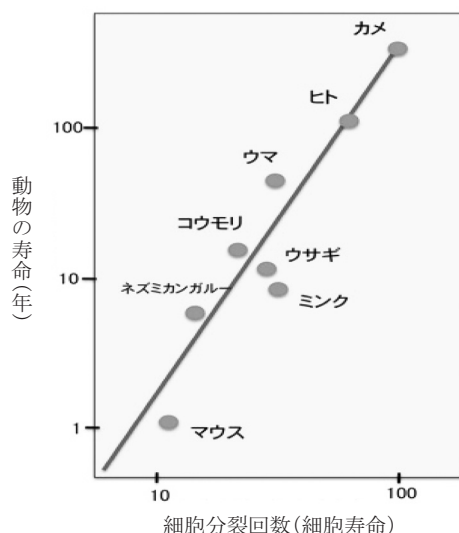


図 5

13) Aida L. 2014 Alexis Carrel (1873–1944): visionary vascular surgeon and pioneer in organ

Ⅳ) テロメア

ヘイフリック限界に見られるようにヒトの細胞分裂は50-70回程度ということになる。ヘイフリック限界は培養細胞で調べられたので生体レベルでは異なるかもしれないが、すでに分子細胞学的に証明されている。それはショウジョウバエとトウモロコシの遺伝子から発見されたテロメアという細胞分裂を限定する特殊な遺伝子 (DNA) だ⁴⁾。

DNA はヒモ状になっていて始めと終わりがある (図6)。テロメアは終わりの部分に存在し、DNA 配列が繰り返している。テロメアは種により異なるがヒトでは TTAGGG という配列の繰り返し構造だ。TTAGGG を B と置き換えると BBBBBBBBBBBB—と長く連続するのがテロメアということになる。細胞分裂ごとに BBBBB-約 100 塩基分が切り取られ、残りがある長さになるまで分裂する。テロメアは一種の細胞分裂時計、細胞分裂回数券や寿命時計ともいわれている。しかしテロメア配列を修復する酵素 (テロメラーゼ) もあり生殖細胞ではテロメラーゼによって細胞分裂を繰り返してもテロメアは短縮しない。

細胞分裂は生まれた時から起きるので老化は生まれた直後から老化が始まるともいうことになり、老化の定義も異なってくる。

テロメア短縮が細胞老化の十分条件であることは広く受け入れられている。これは、分裂を繰り返すことで老化した細胞ではテロメアの短縮が認められることと、実験的にテロメアを短縮させることで細胞老化を誘導できる。

テロメアにはそのほかに話題がある。ヒツジのクローン、ドリーは雌 (6 歳) の乳腺細胞の核移植によりつくられた。世界初のクローン大型動物であったため世界中から注目をあびた。しかしドリーは6年しか生きられなかった。ヒツジは普通 12 年程度の寿命だからドリーは早すぎる死だった。その後様々な調査が行われた。ドリーは6歳の乳腺細胞から作られたのでドリーの生きた6年を加えると12歳という計算になる。実際ドリーのテロメアを調べると短く、生まれた時から6歳年をとっていたことが分かった。ドリーは子孫を残しており、こちらは12年生きている。生殖細胞のテロメアはリセットされることが確認できる¹⁵⁾。

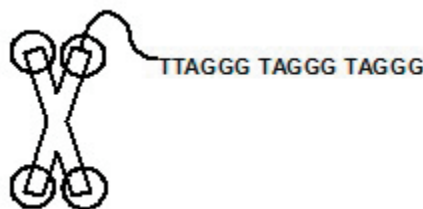


図6 テロメアの模式図

transplantation. J Med Biogr. 22(3): 172-175.

14) Hayflick L. (1979) The cell biology of aging. J Invest Dermatol. 73: 8-14.

15) Roberts PA. (1975) In support of the telomere concept. Genetics. 80(1): 135-142.

V) ヒーラ細胞

ではテロメラーゼを体細胞でも強く働かせば永遠に細胞分裂するのだろうか？答えは Yes である。1951 年子宮頸癌で亡くなった黒人女性ヘンリッタ・ラックの細胞は現在も旺盛な分裂を繰り返すことで知られている。女性の名前のかしら文字から HeRa 細胞（ヒーラ細胞）と呼ばれている。この細胞はテロメラーゼが活性化して、分裂して短くなったテロメアを修復している。テロメアの短縮が起らないことがわかっている。またヒーラ細胞は子宮頸癌を起こしたパピローマウイルスにも感染しており、それが細胞増殖の抑制を阻害し、増殖を繰り返すこともわかっている。ヒーラ細胞は癌の研究にも使われ、広く知られている。

そのほか後に述べる ES 細胞は再生治療が期待され、癌化せず分裂能を維持することが知られている。

4. クローン動物

I) クローンとは

不老不死細胞とは少し異なるかもしれないが、全く同一の遺伝子を持った動植物をクローンという。クローンはギリシャ語の小枝を意味している。クローンは植物で比較的簡単に作られている。菊の栽培などで見栄えの良い花が咲くと、その葉を切り取り、土に植える。切り取った葉には前と全く同じ遺伝子を持つクローンなので、同じ見栄えの良い花が咲く。菊の栽培では種を取って植えることはしない。種は受粉するので他の遺伝子が入り、同じ花は咲かない。

II) カエルのクローン

動物では難しかった。最初にクローン動物を作ったのは英国のジョン・ガードン博士だった¹⁶⁾。灰色のアフリカツメガエルの卵に紫外線を照射し、卵の遺伝子を殺しておいた。次に色素の無い白いアフリカツメガエルを用意し、このカエルのオタマジャクシの腸の核を前者の灰色カエルの卵に移植した。もし灰色のカエルが生まれれば卵の遺伝子以外の要素でカエルが生まれたことになる。白いカエルが生まれれば移植した腸の核が重要であることが分かる。すると生まれてきたのは白いカエルだった。すなわち白いカエルの腸細胞の核の遺伝子が発現したことになる。腸はすでに分化した細胞で腸以外にはなりえないが、回りの状況により初期化して受精卵同様の全能性を獲得したことになる。ガードンはそれ以前にもカエルを使ったクローン研究をおこなっている。

16) Gurdon JB. (1962) The transplantation of nuclei between two species of *Xenopus*. *Dev Biol.* 5: 68–83.

Ⅲ) ヒツジのクローン

ガードンがカエルのクローン化に成功した 35 年後、より大型動物のヒツジのクローンに成功した。スコットランド、ロスリン研究所のウィルムット博士を中心に行われた^{4, 17, 18)}。カエルは脊椎動物なのでさらに高等な脊椎動物でも可能といわれていた。しかし大型のクローン動物が出来ることはヒトのクローン化にもつながり、生命倫理上危険視され、このような実験をおこなう研究者はいなかった。

ロスリン研究所ではヒツジのミルクに人間の蛋白質を含むように遺伝子操作する研究がおこなわれ、実績と成功があった。ヒトの血友病に有効な血液凝固因子、血液凝固繊維をヒツジのミルク中に生成させていた。またヒトの母乳成分もヒツジのミルク中に生成させ実績と利益をあげていた。しかしこれはヒツジの卵巣から卵を取り出し、ヒトの遺伝子を挿入する方法で、ヒツジ作る効率は数%と、良くなかった。そこで考え出されたのがクローン動物だった。もし同じ遺伝子をもつ動物が数頭生まれれば、血液凝固因子などを分泌するヒツジが何頭もうまれることになる。いちいちヒツジから卵子を取り出し、ヒトの遺伝子を入れる操作は不要となる。決して興味本位でおこなわれた研究ではない。

277 個の卵細胞(核を抜取ったもの)へ6歳のヒツジの乳腺細胞の核を移植した。この細胞に電気ショックを与えると遺伝子のリセットが起こり分裂し、全能性のある卵ができた。このようにしてヒツジの子宮へ移植可能な細胞が 39 個できあがり、実際に 13 頭のヒツジの子宮へ移植された。そして 1 頭のヒツジ(ドリー)が生まれた。

277 回の操作で 1 頭のクローンヒツジが生まれたとはいえ効率が良いとはいえない。また英国内外でも追試実験が行われたが、後にも先にも生まれたクローンヒツジはドリー 1 頭だけだった。ドリーは本当にクローンなのかとの疑問も起こったので遺伝子を調べてみると本当にクローンだった。何頭ものクローン羊を誕生させる目的は果たせなかったが、ホ乳類の乳腺細胞のような分化した細胞でも遺伝子のリセットが起こり、全能性を取り戻すことがわかった。

ドリーのようなホ乳類の大型動物の誕生は歴史上でも初めてのことで、世界中で大きなニュースとなった。しかしやはり生命倫理上良いのか、宗教上許されるのか、様々な議論がまきおこった。キリスト教では全ての物は神がお作りになったと考えており「ヒトは神の領域まで足をいれたのか？」などの議論が起こった。ドリーは 6 歳で亡くなったことはテロメアのところで述べている。

17) Wilmut I, Schnieke AE, McWhir J, Kind AJ, Campbell KH. (1977) Nature. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. 385: 810-813.

18) Wilmut I. (2003) Dolly-her life and legacy. Cloning Stem Cells. 5(2): 99-100.

5. クローン細胞

I) ES 細胞

ES 細胞は Embryonic Stem Cell の略語である。日本では胚性幹細胞というのが簡単に ES 細胞と呼ばれる。SE 細胞はマウスなど受精卵の初期胚の内部細胞塊を培養し、未分化の状態を維持しながら増殖し続けるよう樹立された細胞株である⁶⁾。未分化で全能性とはどのような細胞へも分化出来るということを意味している。マウスの ES 細胞を他のマウスの子宮へ移植すると ES 細胞は分裂し、ES 細胞由来のクローンマウスが誕生する。ES 細胞は培養で増やせるので、マウスの母体から卵を採取する必要がなくなり便利になった。

ES 細胞を利用して行われる研究として、ES 細胞にヒトの血糖値降下ホルモン（インシュリン等）の遺伝子の組み込み、マウスの子宮へ移植する。するとヒトインシュリンを生産するマウスが生まれ、糖尿病の治療モデル動物を作ることが出来る。様々な遺伝子操作をおこない遺伝子の解析にも応用されている。

現在ヒトの ES 細胞も作られている。しかしヒトの ES 細胞はそのまま女性の子宮に移植すればクローン人間が誕生し、様々な意味で生命倫理上大きな問題が発生する。ES 細胞は始めどうしても受精卵が必要となる。受精卵を一人の命と考え、ヒトの命が犠牲になると思われ、生命倫理等の問題が出てくる。このことから ES 細胞の研究には重い規制が設けられている国もある。

その一方でヒト ES 細胞は心筋細胞、骨細胞、神経細胞、肝細胞、ドーパミン生産神経細胞などへも分化させることができ、移植することによってそれぞれ心筋梗塞、骨粗鬆症、半身麻痺、肝機能障害、パーキンソン病への治療が期待されている。この場合、他人の ES 細胞から作った臓器を移植するので免疫拒否反応がおこる。長い期間にわたり、免疫抑制剤を服用することになる。

II) iPS 細胞

iPS 細胞は皮膚などの体細胞に遺伝子を導入し、培養することによって様々な組織、細胞に変化させることができる^{6, 7, 8)}。日本の山中伸弥博士が開発し、2012 年に前述のジョン、ガードン博士と共にノーベル生理学・医学賞を受賞している。

山中教授は卵から作った ES 細胞は全能性があるが、普通の体細胞にはどうして全能性がないのかを考えた。ES 細胞にはなにか特別な遺伝子が働いているに違いないと考え、その遺伝子を追求したところ、4 つの遺伝子 (Oct3/4, Sox2, Klf4, c-Myc) を分離することができた。この 4 遺伝子を皮膚細胞へ導入すると全能性を取り戻し、様々な組織へ分化させることができた。ES 細胞のように卵に依存せず、体細胞に全能性を持たせることが可能となる。これまでにない画期的な研究だ。iPS 細胞は自分の細胞から作った臓器を自分に移植することができるので免疫的な拒否反応が起きない。現在 iPS 細胞は癌遺伝子 C-Myc がなくても遺伝子をリセットし全能性を保持することができる。癌化することのない安全な細胞になっている。角膜、網膜を再生し、移植するなど再生治療への研究が始

まっている。

山中教授はこの細胞を人工多能性幹細胞 (Induced Pluripotent Stem Cell) と名づけた。本来なら名前を英語にする場合、最初のアلفアベットは大文字が普通なので IPS 細胞とすべきだ。しかし山中教授はアップル社の iPhone、iPod のようにみんなが便利に広く使ってほしいという要望から、あえて最初を小文字にして iPS 細胞と名づけた^{7, 19)}。

Ⅲ) クローンは長寿と言えるのか？

カエルから始まったクローン動物は初めの細胞を初期化し、1つの生体まで育てることが可能となった。初めの細胞を採集した人間とクローン人間は遺伝子が同じであっても別人なのでこの場合クローンは長寿とは関係が無い。しかしクローン技術から発達した iPS 細胞は長寿に関係している。自分の細胞を初期化し、自分の調子の悪い臓器に変化させ、移植することによって長寿になれるかもしれない。大がかりな手術は必要なく、ファイバースコープを使って体内の臓器に直接注射することになるかもしれない。再生治療の夢が実現しつつある。

6. 健康長寿食

I) 生命維持食の伝説

クローン動物、遺伝子分野の老化、再生治療とは別に、長寿食、健康食とそれに関する長寿遺伝子はあるのだろうか？メソポタミア時代のギルガメシュ叙事詩にはシーブイッサルアメールという老人を若返らせる薬草が登場する。ヨーロッパの錬金術にはエリクサーという不老長寿の秘薬が登場する。この様な永遠の生命を維持する薬品はあるのだろうか？

Ⅱ) 健康長生き物質が発見

永遠の生命とまではいかないが、健康長生き物質が発見されつつある。日本は世界でも長寿国の中に入っている。日本人女性の平均寿命は 86.61 歳で世界 1、男性は平均寿命 80.21 歳で世界 4 位となっている (2013 年厚生労働省、2015 年総務省統計局)。ちなみに男性の 1 位は香港の 80.87 歳になる。

日本人の長寿は食事に支えられていると言っても良いかもしれない。日本食は多様で新鮮な食材を使用し、健康的な栄養バランス、自然の美しさの表現、年中行事との関わりなど以前から世界でもトップクラスと言われていた。サシミ、寿司など世界的に広まっている。特に生の魚など日本以外の国ではほとんど食べていなかったのではないだろうか。うまみを発見したのも我々日本人だ。日本食は 2015 年、ユネスコの無形文化遺産に登録されている (農林水産省)。

19) 畑中正一、山中伸弥、(2008) ひろがる人類の夢 iPS 細胞ができた、集英社。

日本の中でも沖縄では平均寿命より長寿の人が多い。泉重千代さん(1865-1986)という121歳の男性は沖縄に住んだ世界的な長寿の一人だった。沖縄の食生活はブタ、黒砂糖、海藻、豆腐、薬草(アロエ、ウイキョウなど)、お茶をよく飲む、体を動かす(農業)などとなる。ミネラルの多い食べ物と良い空気と水などが特徴的だ。豆腐や野菜は塩分の害を打ち消し、血中コレステロール低め、血管疾患の発症を抑え、長寿にしている。

しかし残念なことに、ここ数年の間に沖縄は長寿とは言えなくなってきた。農業で体を動かさなくなった。食べ物が欧米化したなどの原因があるようだ。とはいえ本来の伝統食に戻せば沖縄も再度長寿地域に戻るとされる。ちなみに泉重千代さんのあと最長寿者は大阪市の大川ミサヲさん(1898-2015)117歳だった。

Ⅲ) 日本食の特徴

日本食の特徴として、タウリンとマグネシウムが多いことが分かっている。タウリンは魚介類に多く含まれ、動物の肉、内臓にも多い。タウリンは尿中にでて排出される。理想的な1日あたりのタウリン摂取量は150mgである。以下にタウリンの多い食べ物を上げる。数は100gに含まれるタウリンの量。

トリレバー 129mg、牛タン 238mg、ブタタン 210mg、サザエ 1536mg、ホタテ 669mg、カツオ 832mg、カキ 1000mg、ぶり 673mg、タコ 1,536mg、アサリ 230mg、鰹節 555mg となっている。

マグネシウムは海草類、魚介類、雑穀、豆類、ナッツ、野菜類などに多く含まれている。タウリンもマグネシウムも日本人が普通に食べている食材だ。

タウリンとマグネシウムは加熱しても壊れないので調理に工夫して食べることが重要になる。日本には海に囲まれ魚介類に恵まれている。日本人のタウリン摂取量は世界一で、世界的にも長寿国となっている²⁰⁾。

7. 老化を遅らせ、長生きできる遺伝子

I) 低カロリー

「腹八分目」は古くより健康の秘訣と考えられてきたが、現在の生物学の成果もその妥当性を裏付けている。食べ過ぎると、血中における栄養素の濃度が高くなる。そのため、これを外敵と見なして、顆粒球が増えて攻撃する。アメリカではいくつかの研究施設(国立老化学研究所やウィスコンシン大学など)でアカゲザルを使った研究が20年以上前から行われていた(図7)。アカゲザルは寿命がヒトの3分の1程度、進化的にヒトに近い霊長類である。研究室で飼育されたアカゲザルの平均寿命

20) 家森幸男著、(2010) 遺伝子が喜ぶ長生きごはんータウリンとマグネシウムの健康パワー、朝日新聞社出版。

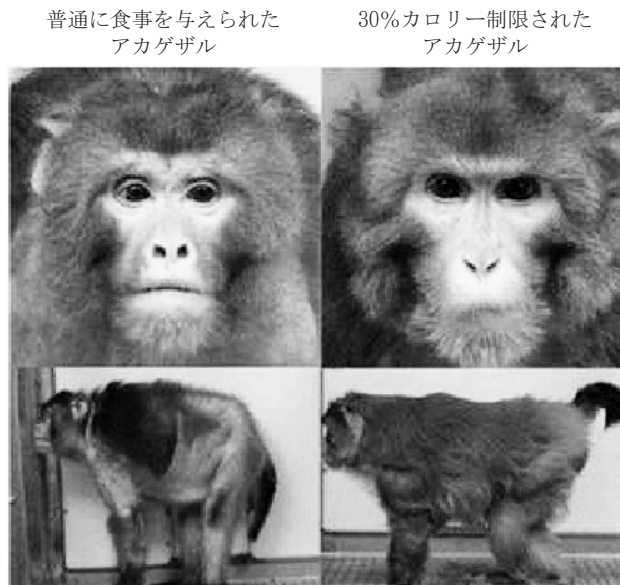


図 7 左のサルは体毛が抜け、顔の表情も老けている。右のサルは体毛、顔も若々しい。

出典 antiaging sore-1.net

は約 27 年、最長寿命は約 40 年と考えられていた。1989 年に開始されたウィスコンシン大学の研究ではカロリー制限開始時に 8 歳から 14 歳で、20 年経った現時点までにかかなりの個体が老年病その他の原因で死亡している。自由に餌を食べてきたグループ（自由摂食群）で 50% が生存している時点で、カロリー制限をしてきたグループ（制限群）では 80% が生存していた^{21)、22)}。

Ⅱ）飢餓状態と細胞

さらに分子生物学的にも次の様なことが分かっている。飢餓状態おかれると細胞内のミトコンドリアは栄養の不足分を効率よく補おうとして増殖する。エネルギー発生時にでる老廃物の活性酸素の発生を抑える遺伝子、すなわち飢餓遺伝子（サーチュイン遺伝子）が働き始め、活性酸素を抑える酵素をつくる²³⁾。いわゆる人体の組織と臓器を傷つける活性酸素をやっつける酵素ができるので細胞は守

21) Colman RJ, Anderson RM, Johnson SC, Kastman EK, Kosmatka KJ, Beasley TM, Allison DB, Cruzen C, Simmons HA, Kemnitz JW, Weindruch R (2009) Caloric restriction delays disease onset and mortality in rhesus monkeys. *Science* 325, 201-204.

22) Ingram DK, Cutler RG, Weindruch R, Renquist DM, Knapka JJ, April M, Belcher CT, Clark MA, Hatcherson CD, Marriott BM, et al. (1990) Dietary restriction and aging: the initiation of a primate study. *J Gerontol* 45, B148-163.

23) Guarente L. (2007) Sirtuins in aging and disease. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol.* 72: pp483-488.

られる訳である。別の分かりやすい言い方では、腹八分目を続けるとサーチュイン遺伝子が目覚め、ミトコンドリアを活性化させてエネルギー効率を高める。活性酸素の害を低下させ、動脈硬化、高血圧、高血糖、骨粗鬆症、脱毛白髪などの老化現象を防ぎ、若さが保たれる。サーチュイン遺伝子は人にも有り、やはり食べ物を抑えると同様な効果がある。

Ⅲ) 適正カロリー計算

食べすぎると体脂肪が増える。体脂肪の増加による過体重を「肥満」という。肥満は、糖尿病、高脂血症、高血圧などの動脈硬化の原因となる病気を引き起こす。そればかりでなく、関節、特に膝の関節を痛み、変形性関節症も引き起こす。また最近、肥満が原因で寝ているときに呼吸状態がおかしくなる睡眠時無呼吸症候群も多くなっている。腹八分目が長生きの方法であることに十分な科学的根拠があるが、カロリーに限らず、食習慣が生活習慣病の防止、ひいては老化防止に非常に大きく関係していることは明らかである。

長寿遺伝子が出るカロリー制限を自分で算出する。

20 歳代

適正体重 (Kg) = 身長 (m) × 身長 (m) × 22

適正カロリー (Kcal) = 適正体重 × 基礎代謝基準値 (24.0) × 生活活動強度指数 (1.5)

適正カロリー × 0.7 が長寿遺伝子が出るカロリー

60 歳代

適正体重 (Kg) = 身長 (m) × 身長 (m) × 22 = 58.5

適正カロリー (Kcal) = 適正体重 × 基礎代謝基準値 (21.5) × 生活活動強度指数 (1.7)

適正カロリー = 58.5 × 21.5 × 1.5 = 1886.6 Kcal

朝：スープとバナナ、昼：小さい弁当、夜：ジュースにバナナなど

Ⅳ) レスベラトロール

カロリー制限しなくてもとサーチュイン遺伝子を活性化する物質はあるのだろうか？

サーチュイン遺伝子を活性化させる物質としてレスベラトロールが発見された。赤ワインやリンゴの皮などに含まれるポリフェノールの一種で赤ワイン、ブドウの皮、リンゴの皮、ピーナッツの皮にも含まれる。レスベラトロールにより老化をコントロール出来るという期待が出た²⁴⁾。しかしこれほど期待され研究も多いレスベラトロールであるが、この物質が本当にサーチュイン遺伝子を活性化

24) Therapeutic Effect of Resveratrol on Oxidative Stress in Graves' Orbitopathy Orbital Fibroblasts. Kim CY, Lee HJ, Chae MK, Byun JW, Lee EJ, Yoon JS. (2015) Invest Ophthalmol Vis Sci. 56(11): 6352-6361.

するのか？食糧を減らして活性化するのは他の遺伝子ではないかと言う疑問点もでてきた²⁵⁾。

V) ニコチンアミド・モノ・ヌクレオチド

レスベラトロールとは別にニコチンアミド・モノ・ヌクレオチド (NMN) という物質はサーチュイン遺伝子をレスベラトロールの数倍活性化するという論文もある²⁶⁾。現在 NMN の研究はむしろ少数派で論文もそれ程多くない (PubMed 検索)。糖尿病マウスに NMN を与えると血糖値が正常化した。これは働きをやめた膵臓のランゲルハンス島をよみがえらせた結果と思われる。NMN を与えたマウスは脳の視床下部を刺激し、全身の細胞の活性化をおこない若返りに効果があった。NMN は中枢神経を修復し、アルツハイマー病の発症を抑える効果がある。NMN を 1 週間与えた老マウスは若返り、ヒトでは約 60 歳相当から約 20 歳相当へ若返ったなどの効果がある。現在最もサーチュイン遺伝子をコントロールできる薬品といわれている。これが事実だとするとヒトは何歳まで若く健康に生きられるのだろうか？

現在レスベラトロールはサーチュイン遺伝子を活性化せず、NMN はサーチュイン遺伝子を活性化するという説もあります。両物質の関連性もまだ分かりません。今は論争中とも言えるかもせれません。このような物質を摂取すれば大食しても大丈夫という考えにもなりますが、やはりバランスの取れた食事をするのが重要と思われます。長寿遺伝子はバクテリアから人までほとんどの生物にあるにある事が分かっています²⁷⁾。

これは進化の過程で飢餓がたびたびあり、その様なときにサーチュイン遺伝子を獲得し、生物が生存率を高めたと予想されます。そのほか断食道場などで一定期間、断食をするとなぜか体の調子が良くなることも経験的に知られています。これも同様にサーチュイン遺伝子が発現します。

VI) 食と健康

食と健康は密接な関係があることは良く知られています。「腹八分目」「リンゴを食べば医者いらず。」「ダイコンどきの医者いらず。」「サンマが出ると医者がひっこむ。」など、これらは中国から医食同源のなかで伝わったと言われていますが、日本でも腹八分目はよく知られています。食事は腹一杯食わず、胃の八分目程度にするのが健康に良いという言い伝えである。これはすでに述べたように飢餓遺伝子が関係してくる。

25) Kaeberlein M, Kennedy BK. (2007) Does resveratrol activate yeast Sir2 in vivo? *Aging Cell*. 6(4): 415-416.

26) Imai S. (2010) A possibility of nutraceuticals as an anti-aging intervention: activation of sirtuins by promoting mammalian NAD biosynthesis. *Pharmacol Res*. 62(1): 42-47.

27) Brachmann CB, Sherman JM, Devine SE, Cameron EE, Pillus L, Boeke JD. (1995) The SIR2 gene family, conserved from bacteria to humans, functions in silencing, cell cycle progression, and chromosome stability. *Genes Dev*. 9(23): 2888-28902.

8. 老化と活性酸素

長寿遺伝子と食べ物ができたので、活性酸素についてももう少し説明しておく。老化は生命体のシステムに内在する原因によるもので、人間ならすべての人間に同じように起こるはずである。老化は細胞内器官のミトコンドリアに生じる活性酸素に起因するものがある。活性酸素はスーパーオキシドとも言われ、酸素分子 (O_2) の電子が不足している物質で O_2^- 、 $O=O^-$ と表現される。ミトコンドリアは酸素を使って ATP を作るので、絶えず酸素を消費し活性酸素を作っている。若くて抗酸化系とバランスが取れている間はよいが、やがてバランスが崩れたり、老化したミトコンドリアから抗酸化系では処理しきれない活性酸素が漏れ出て細胞に傷害を与える。様々な物質と化学反応し、細胞に損傷を与える。分解しきれない活性酸素は癌、生活習慣病、老化の原因となる。活性酸素を増やす要因には、食生活の乱れやタバコや大量の飲酒、過激なスポーツ、紫外線など、さまざまな要因があるが、ストレスも重要な要因のひとつである。

このような活性酸素に対する抗酸化物質には次のようなものがある。ビタミン C、ビタミン E、ビタミン A、ベータ・カロチン、グルタチオンなど。スーパーオキシドディスムターゼ、タカラゼ（肝臓に多い）など。このような活性酸素に対する物質を摂取し、細胞の老化対策をすると良い。

9. ウェルネスと骨格筋

食事の他に、骨格筋も健康と深く関係している。人の骨格筋は約 340 あり人体の約 40% と言われている。筋力を維持することは行動の範囲を広げ、豊かな生活の基礎を作ることが出来る。筋はトレーニングにより筋力が増し、使わなければ筋力は減退する。トレーニングの効果は人様々で、各人の遺伝子によると言われている。

筋は最もカロリーを消費する臓器であり、基礎代謝量上げることができる。高齢者でも筋肉トレーニングなどで筋の増量をすると、ほどよい範囲で維持され、寝たきりにならず健康的な生活を送ることが出来る。病院に入院して寝たきりになると筋は萎縮し、減少する。無重力状態でも筋は萎縮し減少する。

日本は既に超高齢化社会になっていて、医療、介護の予算などもさらに増加することが予想されている。生活習慣病にならず、健康で充実した老後の生活を送り、寝たきりにならず寿命になることは多くの人の願いであり、ライフ・ウェルネスという概念にとっても重要なことである。

長寿には筋のトレーニングを行い、筋肉を増やすことも重要になる。そのため老後もある程度の運動が必要となる。老後も健康で長生きは世界的な流れとなっている。というのは健康を維持することによって老人医療費が削減されることになるからである。海外では国をあげて取り組んでいる事業でもある。日本ではオリンピックのメダルには予算をさいているが、高齢者の健康維持についてはニュースにもあがらない。

熊本県の山鹿スポーツクラブでは毎年ウォーキング大会やペタンク大会が開かれ、高齢者、壮年、青年、少年層男女の交流を深めている。ペタンク競技には腰が曲がり、杖をついた高齢者も参加している。学生と高齢者のペタンクの試合では高齢者（50-70 歳程度）の方が技術、練度共に高く、当学の学生は勝ったことが無い。普通は若い人の方が運動の感も良く、スポーツ系のゲームは強いはずだと思ったが、実は高齢者の方が相当上だった。山鹿スポーツクラブのメンバーは他スポーツクラブとも試合をしており、高齢者も練習によりうまくなることが分かった。

地域のスポーツクラブなどで筋を使うと筋の量が増える。運動して筋を使えば、筋内の動脈・静脈の血流が良くなり、代謝も良くなる。生活習慣病と言われる糖尿病、脳卒中、心臓病、高脂血症、高血圧なども運動による改善が見込まれる。また筋を使うと筋が肥大し、基礎代謝（何もしていない時に体が必要とするエネルギー量）が増える。運動しないと筋は減り、筋は分脂肪組織になる。同じ量を食べても、筋の多い人（基礎代謝量の多い人）は太らず、筋の少ない人は太る。運動すると健康に良いのはこの辺にある。運動はウォーキング、サイクリン、軽い水泳など有酸素運動が効果的といわれている。これらの運動はだれでも行うことができ、家族と高齢者の健康作りが効果的であり、また世代を超えた人との交流とコミュニケーションにも効果がある²⁸⁾。

10. 老化と筋運動

老化と筋運動は関係が深い。身近な 30-40 歳代はまだ筋力が維持されている。40-50 歳代になると徐々に脚力が衰えてくる。特に 50 歳代以上では脚で最も大きい腸腰筋と大腿四頭筋が衰えてくる。腸腰筋は大腿部を前に出す働きをし、大腿四頭筋はヒザ（下腿）を前に出す（伸展）働きをする。これらの筋は足を伸ばす方に働く。またそれらと逆に働く筋もある。大臀筋は大腿を後ろに動かし、ハムストリングスという大腿部後ろの筋群は膝を後ろに蹴る働きをする。伸ばす伸筋群と曲げる屈筋群を使って足全体を前後にバランスよく動かして歩くことが出来る。年を取って歩かなくなるとこれらの筋は萎縮する。これらの筋は神経によって支配されており、運動しなくなると運動神経、運動神経中枢も運動の指令を出しにくくなる。さらに呼吸も横隔膜、呼吸筋という横紋筋によりおこなわれるので心肺機能も衰えてくると思われる。

車で移動することも多くなる現代人でなおさらこれらの筋は使わなくなる。若い人でも自動車、エレベーター、エスカレーターを利用していると足の筋力は弱くなる。なるべく散歩、ウォーキングなどを行うことが重要となる。

28) 大日方 昂 (2006) 細胞と形のうごき V、細胞の運動と制、サイエンス社 pp68.

11. 筋の基礎的研究

これまで述べたように骨格筋の運動が健康によいことが分かっている。骨格筋は横紋筋ともいわれ、顕微鏡で観察すると規則正しい横紋構造が有る。横紋筋の研究はレーウエンフック (1632-1723) が単眼の顕微鏡で観察してから約 300 年、エンゲルマン (1843-1909) が横紋構造を確立してから約 100 年経過している。20 世紀になって滑り説、神経興奮—筋収縮共役が提唱され、横紋構造も電子顕微鏡観察から細いフィラメント (アクチンフィラメント)、太いフィラメント (ミオシンフィラメント) 構造が明らかになった。しかしどのように横紋構造が形成されるのか未だ分かっていないことが多い²⁹⁾。

また遺伝子研究も盛んになり、骨格筋のマスター遺伝子が発見された。マスター遺伝子を非筋細胞 (繊維芽細胞など) に導入すると骨格筋細胞になるという画期的発見だった。マスター遺伝子の発見以後、研究の話題は神経へと移行し、横紋構造形成の研究は解明されないままになっている。

我々の研究は横紋構造形成に関連するもので、細いフィラメントに沿って存在するトロポミオシンという蛋白質を RNAi 法により減少させるとどのような横紋構造が形成されるかを調べている。異常があればトロポミオシンが重要な役割をしていることになる。トロポミオシンは種類がたくさん有り、なかなか難しいが、心臓のトロポミオシンは比較的やり易いので心臓を材料にしている。この研究は社会福祉研究所の研究費によるもので、一定の成果が有り、日本細胞生物学雑誌 (Cell Structure and Function) に投稿している³⁰⁾。

12. 老化、長寿と運動の補助機器

I) アシスト機械

筋の運動は健康にの維持につながり、ウォーキングなどの軽い運動は誰にでもできると書いてきた。しかし年齢も 70 代近くになるとなかなか外に出て動くことも辛くなる。そのほか脳血管障害などで手、足の運動が不自由な人のリハビリテーションなどがそれに相当する。一方介護現場に向けて歩行アシスト機械が開発されている。メーカーごとに様々なポリシーを持っているので機器の仕組みに違いがある。代表的な機器をあげ将来の福祉にどのような影響があるかを考えたい。

29) 豊田直二、石橋剛士、藤塚千秋 (2010) 横紋筋の研究の歴史、熊本学園大学論集『総合科学』第 17 巻 2 号 1-9.

30) Toyota N, Fujitsuka C, Ishibashi K, Yoshida LS and Ohmuro HT. Morphological modifications in myofibrils induced by suppression of embryonic and adult cardiac tropomyosin isoform (TPM4a) in chicken cardiac myocytes. Cell Struct Funct.

Ⅱ) ハル

サイバーダイン社のハルは筑波大学の山海嘉之教授が開発した外付け型の運動の補助機器である。機械は腰に装着するようになっている。人の股関節-膝関節-かかと関節に相当する長い外骨格状の装置である。各関節にモーターがあり動くようになっている(図8)。人は身体を動かすとき、脳から神経を通して筋へ信号を送る。筋には生体電流としてもれでている。ハルはその信号を装着しているセンサーがとらえモーターを動かし、人の動きをアシストする。

自立支援用下肢タイプは実際に介護施設で使われている。下肢にしょう害の有る人、下肢の筋力が弱くなった人などにつかわれる。トイレに行けなかった人がこの装置を使って行けるようになった人もいるという。背中にあるバッテリーで約1時間半動くことができる(図8、1-2)。介護支援用(腰

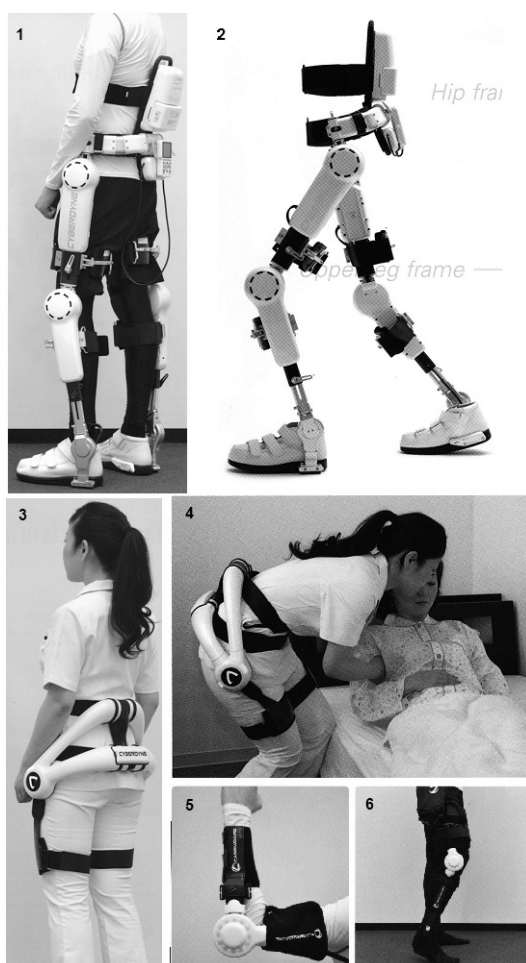


図8 様々なタイプのハル

自立支援用下肢タイプ(1と2)。介護支援用(腰タイプ3、4)。自立支援用単関節タイプ(5、6)。(図はサイバーダイン社のカタログより)

タイプ）は介護する人の腰に装着するようになっている。寝ている人を起こすときには中腰になる時があり、大きな負荷がかかり腰を痛める。腰を痛めて介護施設を離職する人も多い。このようなアシスト機械があれば介護施設にも大いに貢献すると思われる（図8、3-4）。自立支援用単関節タイプは肘、膝などの1カ所に装着する。脳梗塞などで半身麻痺の人も寝たきりで利用できる。脳の運動感覚と電気信号が残っている方がこの間接タイプの作動もよく、さらに患者さんの運動回復にも効果が得られる（図8、5-6）。使い方は様々で工夫によりまだ利用方も増えると思われる。ハルは人間の指令を受けて各部を動かすことが出来るのでロボットというよりはサイボーグ方向の支援装置と考えられる。

他社からも様々な支援装置が出されているが必ずしも介護を目的としているとは限らない。そういった意味でハルは現在最も進んでいる介護用支援装置と思われる。ハルは個人用には販売していない。介護施設、病院などへのレンタルとなる。初年度は55万、次年度から安くなるという。ハルなどアシスト装置を使用するには数時間の講習が必要となるが免許も法律も無い。介護保険制度で補助が得られればさら利用しやすくなる。そのほかHONDAも歩行アシストを製作している。これは医療介護を目的としていないので、今回は省略する。

Ⅲ）自動排泄処理ロボット

株式会社クローバの自動排泄処理ロボットマインレット爽（以下マインレット）は取り上げておきたい。これは大きな箱に掃除機のホースが付いたような外観をしている。利用者には特殊な紙パットを着け、その上に柔らかい樹脂製のパットを着ける。この樹脂パットは流動物がもれないようになっていて、ホースがつながっている。これは寝たきりの人に装着し、排泄をするとセンサーが感知し、排泄物を流してくれる。自動シャワーでおしりを洗って乾燥までしてくれる。排泄は生理的に重要なことであるが、介護される人にとっては遠慮がちになる。なるべく我慢してしまうこともあるという。特に寝たきりとなると排泄しにくい。介護する人にとっても多くの利用者の排泄処理は疲労する。マインレットは排泄用に特化したロボットでこれからも利用者は増えると考えられる。要介護4-5、寝たきりの夜間排泄ケアが必要な人に介護保険が適用される。

ロボットやアシスト装置を利用すれば健康で長生きできるかというと、それほど単純ではない。しかし高齢になって、歩くと膝が痛い、階段が上りづらい、普通で歩けない、などの症状が現れた時、ハルなどのアシスト装置があれば大いに助かると思われる。ロボット社会はすぐそこまで来ており、将来は人の役にたつと考えられる。

13. 考察

健康長寿は幸せなのだろうか？これまで生物学的な面とロボットの介護について書いてきた。しかし健康で長生は幸せなのだろうか？健康とはどういう状態を指すのだろうか？広辞苑には「心身とも

に健やかであること」となっている。日常生活の営み（食事、睡眠、自己を自由に表現する心身の活動など）が円滑に行われていると感じ、心は安定している状態が健康であるといえる。現在、世界で最も広く用いられているのは、世界保健機構 WHO の設立時定められた世界保健機関憲章（Constitution, 1948）前文である。「健康とは、身体的、精神的、及び社会的に完全に良好な状態であって、単に疾病がないとか、虚弱でないというだけでない。」総合的には「心身ともに健やかで、社会性も保たれていること」となる。どうもピンとこないが、具体的には、編み物、散歩など軽い運動で体を少しでも動かし、将棋、麻雀などで脳を働かし、ストレスをためないようにするという事らしい。

人の思い以上に科学は急速に進歩している。長寿遺伝子が発見され、その遺伝子を活性化する物質も発見された。機械文明はロボットやサイボーグ装置まで作成している³¹⁾。クローン技術、ES 細胞と iPS 細胞の研究がさらに進めば、癌や難病も治るようになるかもしれない³²⁾。科学は長寿と機械装置の方向に進み、人はいやがおうにも長寿になる。そこでやはり健康長寿は幸せなのだろうかという疑問が生じる。

長寿になって何をしたら良いのだろうか？将棋、編み物だろうか？趣味に没頭できるだろうか？子供と孫と幸せに暮らせるだろうか？子供のいない人はどうするのだろうか。長年一緒に暮らした伴侶に先立たれた人にとって長寿は幸せだろうか？健康で長生きをすることは本当に幸せなことだろうか？老後が長くなることは幸せだろうか？それは価値のあることだろうか？どうして人間の老後は長いのだろうか？

自分の親を見ていると 30 代で結婚し、第二次大戦を生き、子供が生まれ、数十年は親子と生活をする。経済の高度成長期をむかえ豊かになった。子と生活するのは楽しいらしい。子供が社会へ出たあとを見るのも楽しいらしい。孫と暮らすのはさらに嬉しいらしい。ストレスをためず胃がん、乳がん、前立腺がんなども克服できればもっとと幸せな人生を送れるだろう。また老化を予防し、寿命を全うすることは誰にでも可能になると思われる。

31) 井上剛伸 (2014) ヒトの運動機能と移動のための次世代技術開発 — 使用者に寄り添う支援機械の普及へ向けて、井上剛伸編著、株式会社エヌ・ティー・エス

32) Gurdon J, Murdoch A. (2008) Nuclear transfer and iPS may work best together. Cell Stem Cell. 7; 2(2): 135-138.